

## Fiziologinių procesų stebėsenos ir širdies nepakankamumo diagnostikos kompiuterizuotų sistemų kūrimas

L. Gargasas, A Vainoras, R. Ruseckas, V. Jurkonis, R. Jurkonienė, S. Korsakas, V. Miškinis

Kardiologinių tyrimų automatizacijos laboratorija, Kauno medicinos universiteto Kardiologijos institutas  
Sukilėlių pr. 17, LT-50009 Kaunas, Lietuva, tel. +370 37 302881, el. p. liuga@kmu.lt

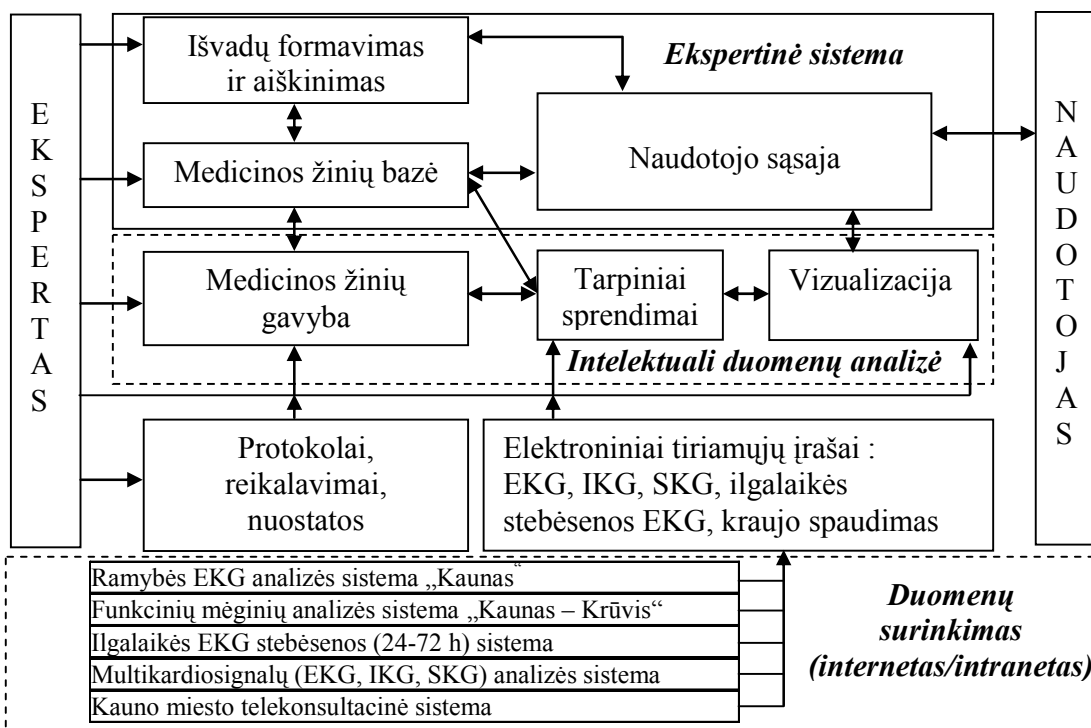
### Įvadas

Vienas iš svarbesnių informacinės visuomenės uždavinių – padėti saugoti žmogaus sveikatą, nes sveikata yra ne tik žmogaus, bet ir nacionalinis turtas. Lietuvoje pastaruoju metu gana sėkmingai taikomos informacinės technologijos kardiologijoje, kardiologai yra sukaukę daug patyrimo kuriant diagnostikos ir terapijos metodus. Klinikinių sprendimų palaikymo sistema (KSPS) – tai informacinė sistema, skirta padėti gydytojui priimti klinikinius sprendimus, t. y. laiku pateikti patarimus, kaip elgtis konkrečiu klinikiniu atveju arba būti „antrąja nuomone“ priimant sprendimus. Kardiologijos klinikinėje praktikoje nuolat sukasi veiksmų ciklas: paciento stebėjimas (nusiskundimų išklausa, tyrimai ir kt.), diagnozavimas ir gydymas. Šis diagnostinis terapinis ciklas yra dinamiškas, iteratyvus ir adaptyvus. KSPS gali apimti visą šį ciklą arba jo dalį. KSPS reikia dviejų pagrindinių dalykų - duomenų valdymo ir žinių valdymo. Pirmasis yra tvarkingas ir sistemingas duomenų surinkimas – duomenų bazės sudarymas ir duomenų kaupimas, o antrasis – tų duomenų klasifikavimas, analizė ir interpretavimas, kas bendrai yra vadinama žinių paieška duomenų bazėse arba intelektualia duomenų analize [1]. KSPS medicinoje pradėtos kurti prieš trisdešimt metų, jų veikimas buvo pagrįstas su eksperto pagalba suformuota žinių baze ir todėl jos buvo vadinamos ekspertinėmis sistemomis. Pagrindinės KSPS sudedamosios dalys, lemiančios jos funkcionavimą, yra šios: duomenų bazė, intelektualio duomenų analizė bei ekspertinė sistema. Formuojant žinių bazę, dalyvauja ekspertas, remiamasi duomenų analizės sistemos formuojamomis išvadomis. I. Olivaes su bendradarbiais 1996 m. sukūrė ekspertinę sistemą ūmaus miokardo infarkto diagnostikai kartu su EKG analize, ir ši sistema buvo skirta priėmimo skyrių gydytojams, kurie neturi kardiologo kvalifikacijos [2]. W. Kaiser su bendradarbiais 1996 m. sukūrė KSPS, skirtą miokardo infarkto bei kairiojo skilvelio hipertrofijos diagnostikai, remiantis EKG parametrais [3]. KSPS kuriamos ne tik diagnostikai, bet ir gydymo būdų parinkti. 1998 metais S. Wang su bendradarbiais sukūrė ekspertinę sistemą TACHY, skirtą supraventrikulinių tachikardijų gydymo būdai parinkti vyresnio amžiaus pacientams: 121 atveju iš 126 (95 proc.) ekspertinė sistema teisingai parinko gydymo

metodą, padėjusį atkurti sinusinį ritmą [4]. Dar anksčiau (1983) G. A. Diamond su bendradarbiais buvo sukūrę KSPS CADENZA, skirtą ankstyvai išeminės širdies ligos diagnostikai. Sprendimui priimti taikytas Bajeso metodas [5]. Ši sistema buvo testuota keleto centrų studijose ir plačiai buvo naudojama moksliniams ir praktiniams tikslams. Kardiologinių tyrimų automatizacijos laboratorijoje sukurta ankstyvos išeminės širdies ligos diagnostikos ekspertinė sistema [6] Analizuojant mokslinę literatūrą KSPS kūrimo klausimais nerasta informacijos apie KSPS, skirtas širdies nepakankamumo diagnostikai. Tačiau ekspertinės sistemos, nors kai kuriais atvejais ir gana efektyvios, parodė žmogaus eksperto ribotumą. Tobulėjant technologijoms, atsirado galimybė kaupti duomenis lengvai manipuluojama elektronine forma ir tai atvėrė naujas KSPS plėtros galimybes. Pirminiame KSPS kūrimo etape vienas svarbiausių klausimų yra kiekybinių ir kokybinių informatyviųjų parametru, naudojamų klinikinių sprendimų palaikymo algoritmuose, išskyrimas ir apskaičiavimas. Nemaža dalis medicinos žinių apie širdies nepakankamumą remiasi požymiais, gautais analizuojant įvairius širdies elektrinius signalus: ramybės būsenos, fizinio krūvio ar ilgalaikio stebėjimo metu registruotą EKG, impedanskardiogramą (IKG) bei seismokardiogramą (SKG) [7]. Siekiant nustatyti ir apskaičiuoti kiekybinius diagnostinius požūriū informatyviausius šių signalų parametrus, naudojamos dvi tarpusavyje susijusios priemonės, t. y. fiziologinės būsenos analizė, būtina patologijos kilmei ir dinamiškai atskleisti, bei daugiakanalių signalų apdorojimo ir metodai, leidžiantys surasti ir apskaičiuoti apibendrintus kiekybinius parametrus, kurių vertės panaudojamos sprendimų palaikymo algoritmams mokyti.

### Širdies nepakankamumo diagnostikos sistemos struktūra

Kuriamą kompiuterinės lėtinio širdies nepakankamumo diagnostikos sistemą (1 pav.) sudaro trys pagrindiniai komponentai, lemiantys šios sistemos funkcionalumą bei kūrimo eigą: *ekspertinė sistema*, intelektualio duomenų analizė ir duomenys – duomenų bazė bei duomenų surinkimas.



1 pav. Kompiuterinės širdies nepakankamumo diagnostikos funkcinė schema

Ekspercinę sistemą sudaro trys pagrindiniai elementai – medicinos žinių bazė, naudotojo sąsaja su ekspertine sistema ir sprendimų priėmimo, išvadų formavimo bei jų paaiškinimo blokas. Medicinos žinių bazėje kaupiamos žinios ir faktai apie lėtinį širdies nepakankamumą bei išeminę širdies ligą, tyrimų rezultatai, o medicinos žinių šaltiniai bei jų kaupimo metodai yra tokie: kardiologų ekspertų apklausa ir širdies nepakankamumo diagnostinių kriterijų paieška mokslinėje literatūroje. Tačiau daugiausia medicinos žinių gaunama iš darbo metu sukauptų tyrimo duomenų. *Duomenų bazė pildoma ir duomenys surenkami* naudojantis laboratorijoje sukurta ramybės EKG analizės sistema „Kaunas“, funkcinių mėginių analizės sistema „Kaunas – Krūvis“, multikardiosignalų (EKG, IKG, SKG) kompiuterinės analizės sistema bei ilgalaikės EKG stebėsenos sistema [7,8,9]. Ilgalaikės EKG stebėsenos sistemos techninės ir programinės įrangos kūrimo bei testavimo rezultatai pateikiami šiame darbe.

### Ilgalaikės EKG stebėsenos sistema: struktūra, metodai, struktūra, techninė ir programinė įranga

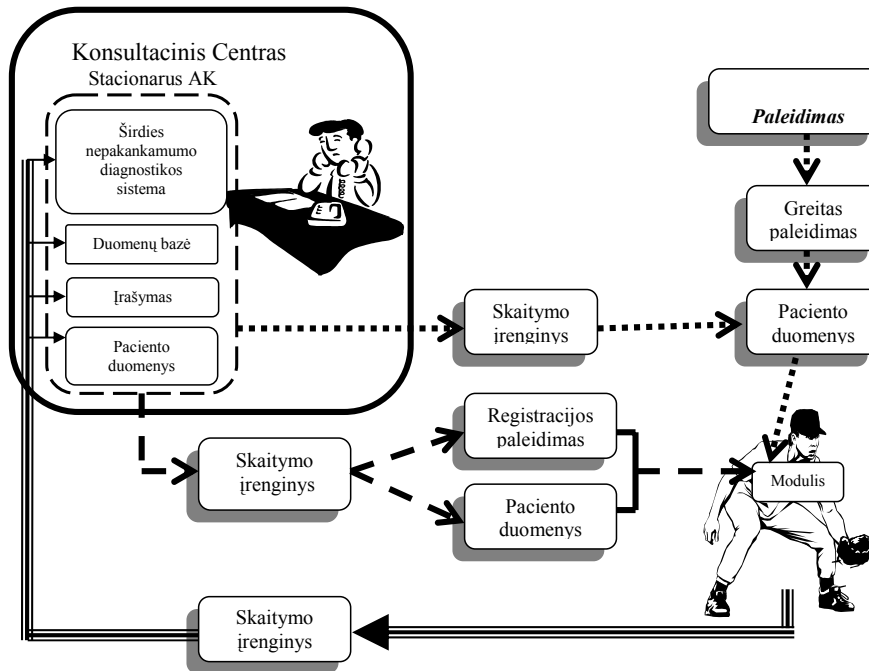
Ilgalaikės EKG stebėsenos sistemos techninę įrangą sudaro registravimo įrenginys, kuris susideda iš firmos „PicoMed“ (Vokietija) sukurtos vienkartinės penkių elektrodų juostos dviem dvipolinėms EKG derivacijoms registruoti, 40x55x10mm dydžio, 19 g svorio EKG registratoriaus ir specialaus duomenų skaitymo įrenginio. Kardiologinių tyrimų automatizacijos laboratorijoje sukurtą programinę sistemos dalį sudaro pradinio duomenų apdorojimo, triukšmų filtravimo, EKG kompleksų atpažinimo, parametrų matavimo, QRS kompleksų klasifikavimo, duomenų pateikimo, atvaizdavimo, išvadų redagavimo ir spausdinimo programos, sukurtos WINDOW<sup>TM</sup>95/98/NT bazėje. Numatyti du EKG duomenų registravimo ir

sukaupti variantai (2 pav.), kurie gali būti apibūdinti kaip stacionarus ir mobilus.

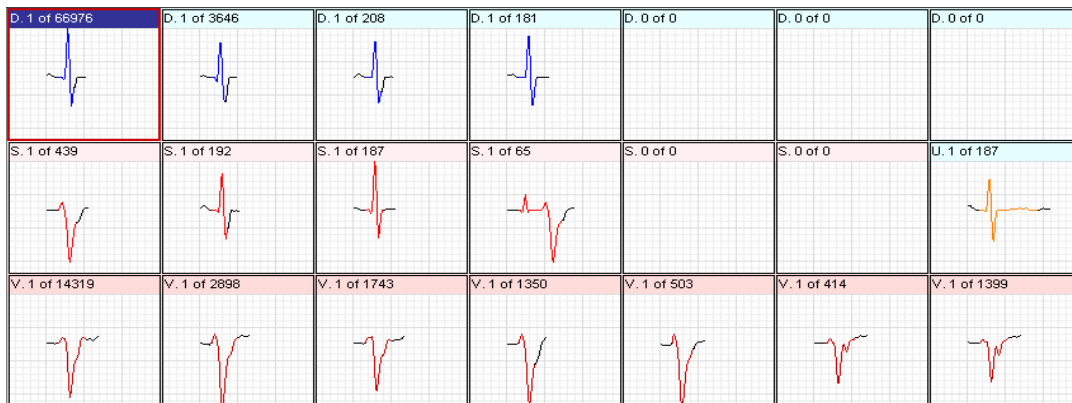
Mobilaus duomenų registravimo ir kaupimo atveju tiriamajam konsultaciniame centre uždedamas ir paleidžiamas veikti duomenų registravimo modulis, turintis duomenų kaupimo kortelę, iš kurios, pabaigus registraciją, sukaupti duomenys nuskaitomi skaitymo įrenginiu ir įvedami į AK atmintį, analizuojami ir gaunami ilgalaikės EKG stebėsenos protokoliai. Stacionarus duomenų registravimo ir kaupimo atveju prie tiriamojo asmens yra duomenų registravimo modulis bei nešiojamasis ar delninis AK, kuriuo modulis paleidžiamas, o užregistruoti duomenys vėlgį per duomenų skaitymo įrenginį patenka į stacionarų konsultacinio centro AK. Be to, stacionarus duomenų kaupimo atveju numatytas tiesioginis duomenų perdavimas į konsultacinį centrą prie nešiojamojo ar delninio AK esančiu duomenų perdavimo moduliui, sukurtu Bluetooth technologijų pagrindu. Abiem atvejais ilgalaikės EKG stebėsenos duomenys patenka konsultacinio centro gydytojui, dedami į duomenų bazę ir į širdies nepakankamumo diagnostikos medicinos duomenų banką. Atpažinus pagrindinius EKG elementus, atliekamas QRS kompleksų klasifikavimas (3 pav.). Jie suskirstomi į tris grupes – normalius, panašius į prieširdines ekstrasistoles ir panašius į ekstrasistoles iš skilvelių. 4 paveiksle pateiktas įvykių (širdies ritmo sutrikimų epizodų), aptiktų ilgalaikės (iki 72 valandų) EKG stebėsenos metu, fiksavimo protokolas. Pirmame lentelės stulpelyje išdėstytos galimos išvados apie ritmo sutrikimus, išskyrus dvi pirmąsias išvadas – „artefaktai“ ir „bloga kokybė“, nusakančias dėl blogos įrašo kokybės neanalizuotinus EKG intervalus. Antrame lentelės stulpelyje pateiktas aptiktų kiekvieno iš ritmo sutrikimo epizodų skaičius, o trečiame stulpelyje fiksuojami šių ritmo sutrikimų atsiradimo laiko momentai. Paskutinėje eilutėje pateikiami

kai kurių EKG parametrų kitimo trendai stebėjimo metu – RR intervalų trukmė, ST segmento poslinkis ir kt. (5 pav.), taip pat RR intervalo variabilumo charakteristikos (Poincare diagramos) (6 pav.), atskirų ritmo sutrikimų

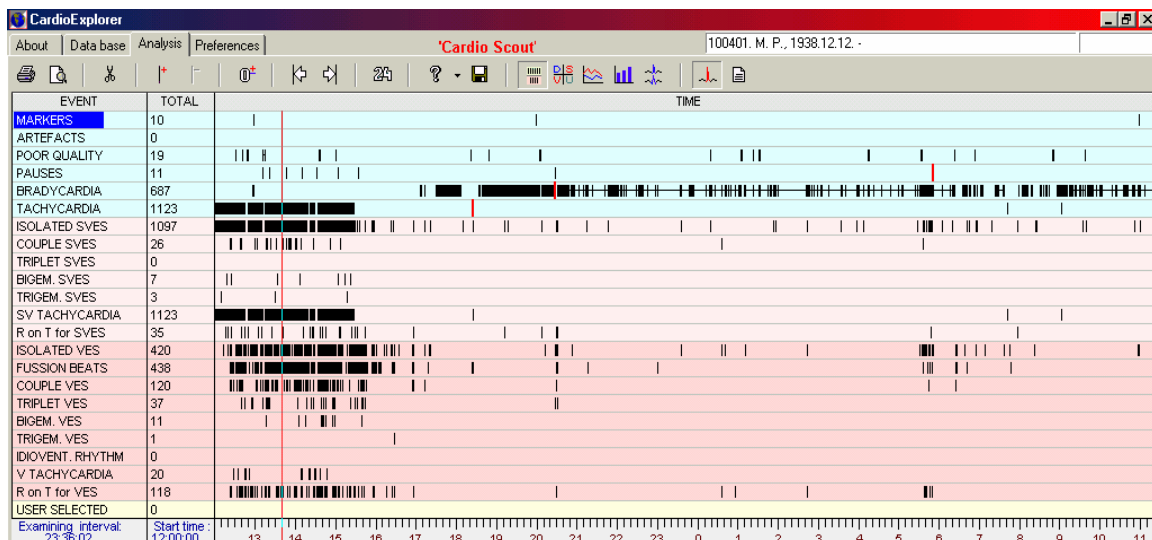
pasiskirstymo stebėsenos metu histogramos bei širdies ritmo spektrinės analizės duomenys apie įvairių spektro dažnio dedamųjų santykį ilgalaikiame EKG įrašė.



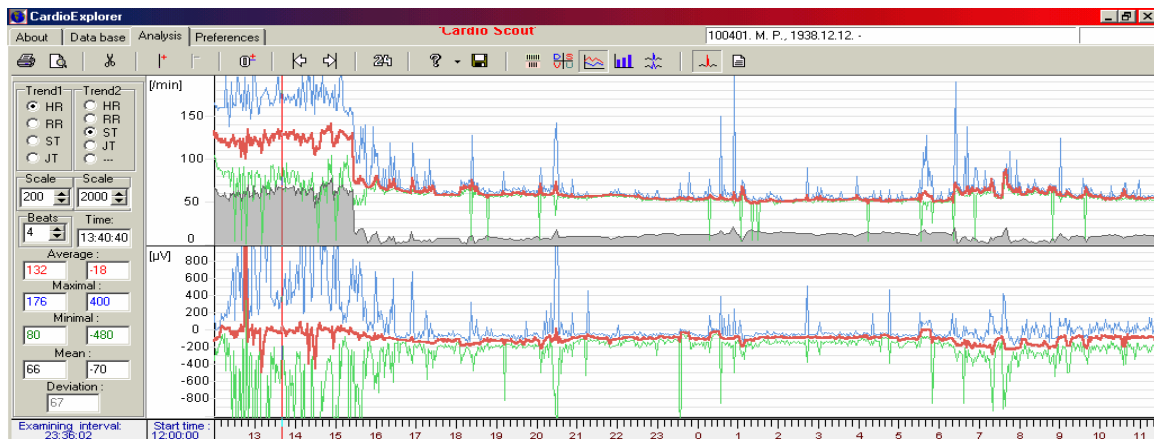
2 pav. Ilgalaikės EKG stebėsenos sistemos eksploatacijos bei duomenų kaupimo schema



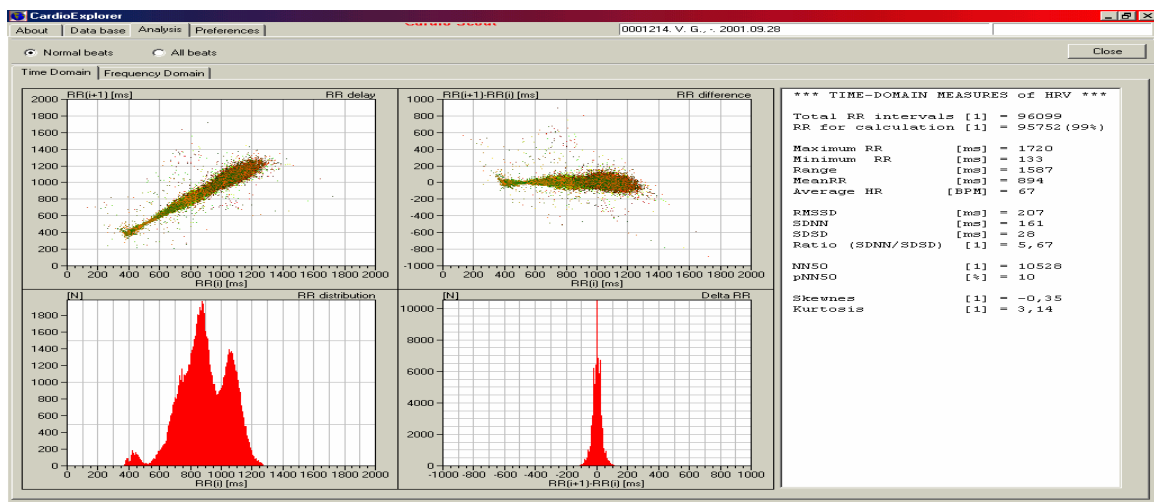
3 pav. Elektrokardiogramos QRS kompleksų klasifikacija



4 pav. EKG stebėsenos sistemos nustatytų įvykių fiksavimo protokolas



5 pav. Širdies ritmo bei ST segmento dislokacijos kitimo trendai ilgalaikės EKG stebėsenos metu



6 pav. Širdies ritmo statistinės charakteristikos: Poincare diagramos, pasiskirstymai

## Ilgalaikės EKG stebėsenos sistemos testavimo rezultatai

Ilgų EKG įrašų analizės sistema buvo testuojama dviem etapais, todėl buvo suformuotos dvi testavimo grupės. Pirmąją grupę sudarė Masačusetso technologijos institute (JAV) sukaupta bei verifikuota 50 ilgų EKG įrašų duomenų bazė (MIT) su įvairiais širdies ritmo ir laidumo sutrikimais. Antrąją grupę sudarė 100 tiriamųjų 24 valandų trukmės EKG įrašai, padaryti naudojant sukurtos sistemos techninę įrangą. Buvo tirti KMU Kardiologijos klinikos pacientai, Kardiologijos instituto darbuotojai, LKKA studentai sportininkai treniruočių bei varžybų metu, taip pat vaikai. Tiriamųjų amžius buvo nuo 1,5 iki 75 metų.

Pirmame ilgų EKG įrašų analizės sistemos testavimo etape buvo vertinamas sistemos algoritminės–programinės įrangos efektyvumas. Tam tikslui sukurtu programų paketu buvo analizuoti ilgi EKG įrašai iš jau minėtos MIT duomenų bazės. Ekspertai kardiologai lygino gautus analizės rezultatus su MIT bazėje esančiais EKG verifikaciniais duomenimis. Buvo atskirai įvertintas trijų pagrindinių programų, t. y. QRS kompleksų atpažinimo, QRS klasifikavimo bei EKG pokyčių (įvykių) interpretavimo tikslumas. Nustatyta, kad QRS kompleksų atpažinimo tikslumas sudarė 99,5 proc., QRS kompleksai buvo klasifikuoti 90,4 proc. tikslumu, o širdies ritmo sutrikimų diagnostikos tikslumas buvo 87,6 proc.

Antrame sistemos testavimo etape buvo vertinamos ne tiek programinės, kiek techninės įrangos savybės: patogumas vartotojui (gydytojui ir pacientui), registruojamo signalo kokybė ir kt. Tuo tikslu ekspertai kardiologai peržiūrėjo 100 tirtų asmenų 24 valandų EKG įrašų kompiuterinės analizės rezultatus bei nustatė teisingų ir klaidingų kompiuterinių išvadų apie širdies ritmo sutrikimus skaičių kiekvienoje EKG. Po to buvo išanalizuotos klaidingų EKG išvadų atsiradimo priežastys. Pagrindinė klaidų priežastis buvo įvairaus pobūdžio triukšmai signalo registravimo metu, pirmiausia tai staigūs izolinijos poslinkiai, atsirandantys dėl padidėjusių polarizacinių srovių tarp odos ir elektrodų, o dėl padidėjusios varžos neretai signalo amplitudė sumažėdavo du ir daugiau kartų. Klaidingų išvadų skaičių ypač didina į QRS kompleksą panašūs artefaktai, kurių atsiradimo priežastis nėra visai aiški. Taigi 95 proc. visų klaidingų išvadų apie širdies ritmo sutrikimus lėmė EKG įrašų trikdžiai ir 5 proc. – sistemos programinės įrangos netobulumas bei klaidos.

## Išvados

Ankstyva lėtinio širdies nepakankamumo diagnostika yra viena iš svarbiausių šiuolaikinės kardiologijos problemų, kurią efektyviai gali padėti spręsti klinikinių

sprendimų palaikymo sistemų kūrimas ir taikymas šiai ligai diagnozuoti ir gydymo taktikai parinkti.

Sukurta lėtinio širdies nepakankamumo diagnostikos klinikinių sprendimų palaikymo sistemos funkcinė schema, kur nemaža medicinos žinių apie lėtinį širdies nepakankamumą bus gauta analizuojant širdies elektrinius signalus jų ilgalaikio registravimo metu. Todėl buvo sukurta ilgų (24h – 72h) EKG įrašų registravimo ir analizės sistema, leidžianti gerokai praplėsti ilgalaikės EKG stebėsenos taikymo sritį, apimant sportą, pediatriją, geriatriją.

Sukurtos programinės įrangos testavimas, panaudojant 50 ilgų EKG įrašų, gautų iš Masačusetso technologijos instituto (JAV) duomenų bazės MIT ir 100 24 valandų EKG įrašų, padarytų KMU Kardiologijos institute parodė, kad QRS kompleksai atpažįstami 99,5 proc., klasifikuojami 90,4 proc. tikslumu, o širdies ritmo sutrikimų diagnostikos tikslumas siekė 87,6 proc. Kardiologai ekspertai, analizuodami diagnostinių klaidų priežastis, nustatė, kad 95 proc. klaidų priežastimi buvo įvairaus pobūdžio bei didelio laipsnio trikdžiai tiriamajam judant 24 valandų trukmės EKG registravimo metu.

## Literatūra

1. **Lavrač N., Keravnou E., Zupan B.** Intelligent Data Analysis in Medicine // Encyclopedia of Computer Science and Technology (A. Kent et al eds.), Dekker, New York, 2000. – Vol. 42. –P. 113–158.
2. **Olivaes I., Lobo N., Ferreira N., Werneck V.** An expert system for diagnosis of acute myocardial infarction with ECG analysis // Artificial Intelligence in Medicine. – 1997. – Vol. 10(Iss.1). – P. 75–92.
3. **Kaiser W., Faber Th.S., Findeis M.** Automatic Learning of Rules. A Practical Example of Using Artificial Intelligence to Improve Computer-based Detection of Myocardial Infarction and Left Ventricular Hypertrophy in the 12-Lead ECG // J. Electrocardiol. – 1996. – Vol. 29(Suppl.). – P. 17–20.
4. **Wang Sh., Xie J., Sada M. et al.** TACHY: An expert system for the management of supraventricular tachycardia in the elderly // American Heart J. – 1998. – Vol. 135. – P. 82–87.
5. **Diamond G.A., Staniloff H.M.** Computer-Assisted Diagnosis in the Noninvasive Evaluation of Patients with Suspected Coronary Artery Disease // JACC. – 1983. – Vol. 1(2). – P. 444–455.
6. **Gargasas L., Ruseckas R., Torrau I., Miškinis V., Jurkonienė R., Kirmonas A.** An expert system for early recognition of ischemic heart disease // Medical and Biological Engineering and Computing. – 1996. – Vol. 34. – P. 401–402.
7. **Gargasas L., Janušauskas A., Lukoševičius A., Vainoras A., Ruseckas R., Korsakas S., Miškinis V.** Development of methods for monitoring of electrocardiograms, impedance cardiograms and seismocardiograms // Studies in health technology and informatics. – 2004. – Vol. 105. – P. 131–141.
8. **Vainoras A., Gargasas L., Jurkonienė R., Jurkonis V., Vitartaitė A., Šilanskienė A.** Dynamics of recovery process on ECG after bicycle ergometry for different aged women and men // International Journal of Bioelectromagnetism. – 2003. – Vol. 5. – P. 34–35.
9. **Korsakas S., Vainoras A., Gargasas L.** Exercise ECG system using elliptical training equipment and bluetooth technology // International Journal of Bioelectromagnetism. – 2003. – Vol. 5. – P. 21–22.

Pateikta spaudai 2005 03 05

**L. Gargasas, A. Vainoras, R. Ruseckas, V. Jurkonis, R. Jurkonienė, S. Korsakas, V. Miškinis.** Fiziologinių procesų stebėsenos ir širdies nepakankamumo diagnostikos kompiuterizuotų sistemų kūrimas // *Elektronika ir elektrotechnika*. – Kaunas: *Technologija*, 2005. – Nr. 4(60). – P. 53–57.

Kauno medicinos universiteto Kardiologijos institute kuriama klinikinių sprendimų palaikymo sistema, skirta vieno iš pagrindinių kardialinių sindromų – lėtinio širdies nepakankamumo diagnostikai. Šio sindromo diagnostikoje svarbu nustatyti įvairius širdies ritmo sutrikimus, kuriems aptikti naudojamos ilgalaikio EKG registravimo ir analizės sistemos. Šio darbo tikslas - sukurti ilgalaikės EKG stebėsenos ir analizės sistemą, integruojant ją į lėtinio širdies nepakankamumo kompiuterinės diagnostikos sistemos struktūrą. Sukurtos ilgalaikės EKG stebėsenos sistemos programinės įrangos testavimo metu nustatyta, kad QRS kompleksų atpažinimo tikslumas sudarė 99,5 proc., QRS kompleksai buvo klasifikuoti 90,4 proc. tikslumu, o širdies ritmo sutrikimų diagnostikos tikslumas siekė 87,6 proc. Il. 6, bibl. 9 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų kalbomis).

**L. Gargasas, A. Vainoras, R. Ruseckas, V. Jurkonis, R. Jurkonienė, S. Korsakas, V. Miškinis.** Development of Computer Systems for Monitoring of Physiologic Processes and Diagnostics of Cardiac Insufficiency // *Electronics and Electrical Engineering*. – Kaunas: *Technologija*, 2005. – No.4(60). – P. 53–57.

In the Kaunas institute of Cardiology of Kaunas university of medicine the clinical decision support system, designed for diagnostics of most important cardiac syndrome - chronic cardiac insufficiency is underdevelopment. In diagnostics of this syndrome it is important to evaluate various cardiac rhythm disturbances that are detected by means of long lasting ECG monitoring systems. The aim of this work was development of ECG monitoring system and integration to structure of system for diagnostics of chronic cardiac insufficiency. Testing of developed ECG monitoring system revealed the following results: the QRS complexes were recognized with accuracy of 99.5percent, QRS complexes were classified with accuracy of 90.4percent and disturbances of cardiac rhythm were detected with accuracy of 87.6percent. Ill.6, bibl. 9 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English and Russian).

**Л. Гаргасас, А. Вайнорас, Р. Русяцкас, В. Юрконис, Р. Юрконене, С. Корсакас, В. Мишкинис.** Разработка компьютерных систем для мониторингования физиологических процессов и диагностики сердечной недостаточности // *Электроника и электротехника*. – Каунас: *Технология*, 2005. – № 4(60). – С. 53–57.

В Кардиологическом институте Каунасского медицинского университета разрабатывается система принятия клинических решений для диагностики хронической сердечной недостаточности. При диагностике этого синдрома немаловажное значение имеет определение нарушений сердечного ритма и проводимости. Основной целью данной работы было разработка и исследование системы ЭКГ мониторингования. Тестирование разработанной системы показало, что QRS комплекс был распознан с точностью 99,5%, QRS комплексы были классифицированы с точностью 90,4%, а нарушения ритма были определены с точностью 87,6%. Ил. 6, библи. 9 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском языках).